

**EMISI CO₂ TANAH AKIBAT ALIH FUNGSI LAHAN HUTAN RAWA GAMBUT DI
KALIMANTAN BARAT**
(*Soil Emissions of CO₂ Due to Land Use Change of Peat Swamp Forest at West Kalimantan*)

Rossie Wiedya Nusantara^{1*}, Sudarmadji², Tjut Sugandawaty Djohan³ dan Eko Haryono²

¹Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Jalan A. Yani Pontianak, 78124.

²Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Yogyakarta.

³Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Yogyakarta.

*Penulis korespondensi. Telp: +6281256146871. Email: rwiedyanusantara@gmail.com.

Diterima: 1 Juni 2014

Disetujui: 9 Oktober 2014

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis alih fungsi lahan gambut yang menyebabkan perubahan emisi CO₂ tanah pada hutan rawa gambut primer (HP), hutan gambut sekunder (HS), semak belukar (SB), kebun sawit (KS), dan kebun jagung (KJ) dan menganalisis pengaruh suhu dan jeluk muka air tanah (*water-table depth*) terhadap emisi CO₂ tanah. Sampel dari tiap tipe lahan diambil sebanyak lima ulangan, total sampel 25. Saat pengukuran respirasi CO₂ tanah gambut dilakukan pengukuran suhu tanah dan muka air tanah. Pengukuran di lapangan dilaksanakan dua kali yaitu awal musim kemarau dan musim hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO₂ tanah tertinggi dan terendah pada dua waktu pengukuran tersebut adalah pada tipe lahan KJ (6,512 ton ha⁻¹ th⁻¹) dan SB (1,698 ton ha⁻¹ th⁻¹) serta pada tipe lahan KS (6,701 ton ha⁻¹ th⁻¹) dan SB (3,169 ton ha⁻¹ th⁻¹) berturut-turut. Suhu tanah gambut tertinggi dan terendah pada dua waktu pengukuran tersebut berturut-turut adalah pada tipe lahan SB (27,78 °C) dan HP (22,78 °C), dan pada tipe lahan KS (29,08 °C) dan HP (26,56 °C) serta jeluk muka air tanah gambut berturut-turut pada tipe lahan KJ (56,2 cm) dan SB (32,1 cm). Faktor-faktor yang menyebabkan perubahan emisi CO₂ tanah gambut adalah suhu tanah, jeluk muka air tanah dan pengelolaan lahan yang menyebabkan perubahan sifat tanah gambut, seperti ketersediaan C-organik (jumlah dan kualitas bahan organik), pH tanah dan kematangan gambut.

Kata kunci : hutan rawa gambut, muka air tanah, pengolahan lahan, perubahan penggunaan lahan, suhu tanah.

Abstract

This study aims to analyze peatland use change that caused changes soil emissions of CO₂ at primary peat swamp forest (HP), secondary peat forest (HS), shrub (SB), oil palm plantations (KS) and corn field (KJ), and to analyze the influence of temperature and water-table depth to soil emission of CO₂. Soil samples were taken from each five replications that account for 25 samples. Simultaneously with measurement of soil respiration measurements soil temperature. Field measurement is carried out twice at the beginning of dry season and the rainy season. The research shows that the highest and lowest soil emissions of CO₂ at the two measurements are at KJ (6.512 ton ha⁻¹ yr⁻¹) and SB (1.698 ton ha⁻¹ yr⁻¹), and at KS (6.701 ton ha⁻¹ yr⁻¹) and SB (3.169 ton ha⁻¹ yr⁻¹), respectively. The highest and lowest temperature of peat soil the two measurements are at SB (27.78 °C) and HP (22.78 °C), and at KS (29.08 °C) and HP (26.56 °C). Also the highest and lowest water-table depth of peat soil are at KJ (56.2 cm) and SB (32.1 cm). The factors caused to differences of CO₂ emissions are soil temperature, water-table depth and land cultivation which caused changing of peat-soil properties such as organic-C stock, soil pH and peat maturity.

Keywords: land cultivation, land use change, peat swamp forest, soil temperature, water-table depth.

PENDAHULUAN

Hutan rawa gambut tropika merupakan ekosistem penyerap (*sequester*) C yang efisien dan pemadam (*sink*) C penting (Rieley dan Page, 2008; Limpens dkk., 2008). Akan tetapi alih fungsi lahan dapat dengan cepat mengubahnya menjadi sumber (*source*) emisi CO₂ di atmosfer (Vasander dan Jauhiainen, 2008). Kerusakan hutan rawa gambut di Kalimantan telah memberi kontribusi dalam peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂).

Peningkatan tersebut antara 0,87 – 2,57 Gt C sebagai hasil dari pembakaran hutan dan lahan gambut pada tahun 1997 (Page dkk., 1999; Page dkk., 2002; Page dkk., 2009). Emisi tersebut sebanding dengan 3-10 Gt CO₂. Peningkatan konsentrasi CO₂ dalam atmosfer menyebabkan peningkatan suhu sebesar 1- 3,5 °C di permukaan dunia (Anonim, 2007).

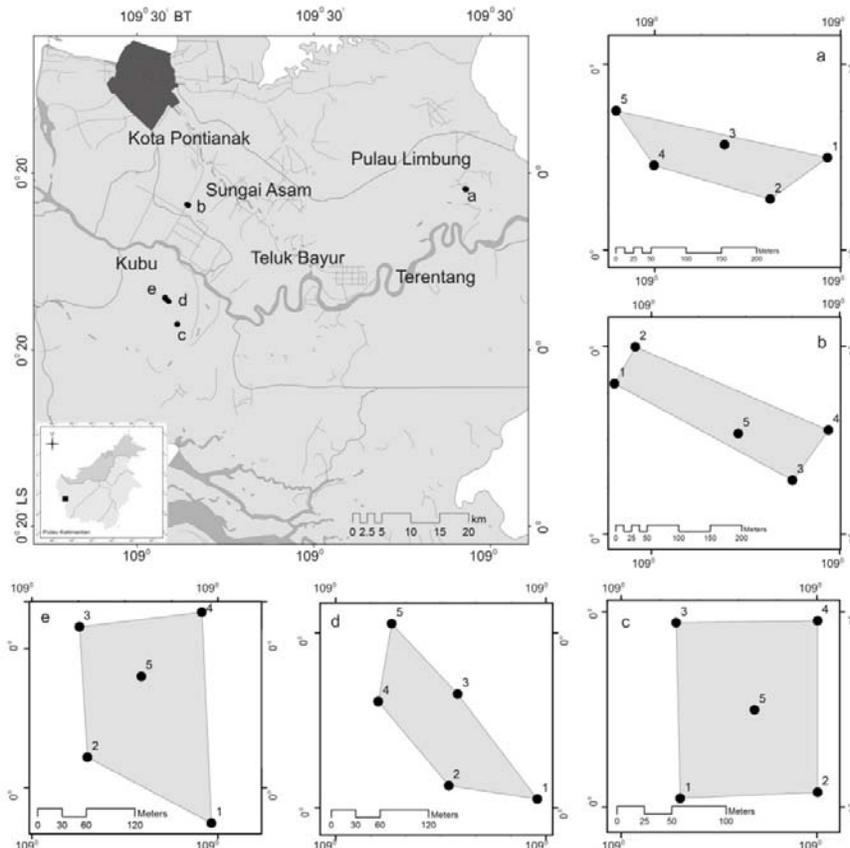
Emisi CO₂ dalam suatu ekosistem merupakan akumulasi dari respirasi tanaman dan respirasi tanah. Respirasi merupakan proses metabolisme

yang mengakibatkan terjadinya penguraian atau katabolisme molekul organik menjadi energi, air dan CO₂ (Luo dan Zhou, 2006). Proses respirasi tanah (termasuk respirasi akar) di bawah permukaan memainkan peranan penting dalam siklus C biosfer (Ojanen dkk., 2012; Donnaura dan Jomura, 2005). Haney dkk. (2008) menambahkan bahwa respirasi tanah adalah aspek penting dari kualitas tanah dan indikator kesuburan tanah. Laju respirasi tanah biasanya diukur pada permukaan tanah dengan menghitung jumlah CO₂ yang keluar dari permukaan tanah ke atmosfer.

Alih fungsi hutan rawa gambut menjadi lahan pertanian telah menyebabkan kerusakan lahan. Kegiatan pertanian tersebut mencakup pembukaan lahan, berupa penebangan pohon (*deforestation*) dan penebasan semak, pembakaran sisa-sisa vegetasi, pembuatan saluran drainase; dan pemadatan tanah untuk penyiapan lahan dan pembuatan guludan (Radjagukguk, 2000; Rieley dan Page 2008; Page dkk. 2009; Wösten dkk., 2008; Hooijer dkk., 2010). Alih fungsi lahan ini mengakibatkan perubahan-perubahan pada sifat fisik, kimia dan biologi tanah gambut yang mempunyai ciri yang khas. Sistem pertanian yang

mengharuskan penurunan jeluk muka air tanah diikuti dengan penambahan pupuk dan amelioran akan meningkatkan oksidasi pada permukaan gambut kemudian menyebabkan terjadinya peningkatan emisi CO₂ (Rieley dan Page, 2008).

Kondisi lahan gambut terdrainase mempengaruhi emisi CO₂ tanah karena peningkatan aerasi tanah dan dekomposisi aerob bahan organik tanah (Farmer dkk., 2011). Kondisi drainase di lahan gambut tersebut mempengaruhi dinamika jeluk muka air tanah (*water-table depth*) atau hidrologi lahan (Mäkiranta dkk., 2010; Danevčić dkk., 2010). Laju emisi CO₂ menunjukkan hubungan yang linear dengan jeluk muka air tanah (Hooijer dkk., 2006; Jauhiainen dan Hooijer, 2012). Muka air tanah bukan hanya sebagai faktor utama yang mempengaruhi kecepatan dekomposisi dan respirasi tanah gambut dalam hubungannya dengan emisi CO₂ tanah gambut, faktor lainnya adalah suhu tanah gambut dan udara-iklim (Farmer dkk., 2011; Hirano dkk., 2012), konsentrasi nutrisi tanah gambut (Komulainen dkk., 1999; Berglund dan Berglund 2011) dan kesuburan tanah gambut (Ojanen dkk., 2013).



Gambar 1. Titik sampling (1-5) pada lokasi kajian (a) hutan primer, (b) kebun jagung, (c) kebun sawit, (d) hutan sekunder dan (e) semak belukar.

Sebagian besar penelitian tentang emisi CO₂ dilakukan pada gambut *temperate* atau beriklim sedang dan gambut beriklim dingin (*Bog*). Kondisi gambut tersebut baik dari aspek proses pembentukan, sifat fisik dan kimia, dan tipe penggunaan lahan sangat berbeda dengan gambut tropika. Adapun penelitian di hutan rawa gambut tropika, khususnya di Indonesia, mengenai dampak reklamasi hutan rawa gambut belum diungkapkan secara lengkap, hanya pada aspek tertentu seperti besarnya emisi C yang dilepas oleh lahan gambut terbakar (Page dkk., 2002; Rumbang dkk., 2009; Ueda dkk., 2005). Penelitian ini dilakukan pada tipe penggunaan lahan gambut yang sebagian besar berada di Kalimantan Barat, yaitu hutan rawa gambut primer, hutan gambut sekunder, semak belukar, kebun sawit dan kebun jagung. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis alih fungsi lahan gambut yang menyebabkan perubahan emisi CO₂ tanah pada hutan rawa gambut primer (HP), hutan gambut sekunder (HS), semak belukar (SB), kebun sawit (KS), dan kebun jagung (KJ) dan menganalisis faktor-faktor pengontrolnya.

METODE PENELITIAN

Lokasi Kajian

Lokasi kajian ini meliputi lima tipe penggunaan lahan gambut yaitu hutan rawa gambut primer (HP), hutan gambut sekunder (HS), semak belukar (SB), kebun kelapa sawit (KS) dan kebun jagung (KJ) (Gambar 1 dan Tabel 1).

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel secara acak distratifikasi (*stratified random sampling*). Sampel dari tiap strata tersebut, diambil sebanyak lima ulangan. Sebaran titik sampel tersebut pada pusat distribusi, yang berada pada tengah-tengah kawasan lokasi kajian. Pengambilan cuplikan dari satu titik ke titik lainnya pada tipe penutupan hutan secara acak pada pusat distribusi, sedangkan pada tipe lahan lainnya mengikuti pola pergerakan *zig zag*. Jumlah sampel sebanyak 25 sampel.

Alat *chamber* yang digunakan untuk pengambilan sampel ini terbuat dari tabung PVC dengan ukuran 5 inci, diameter 10,5 cm dan tinggi

Tabel 1. Deskripsi lokasi kajian pada lima tipe penggunaan lahan gambut.

Tipe lahan	Lokasi	Kondisi lahan
Hutan primer (HP)	Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Kubu Raya (16.649 m ²) S = 00°11.287 E = 109°49.456	Pada HP terdapat jalan dan saluran drainase yang memotong Hutan Lindung Gambut Desa. Panjang dan lebar jalan sekitar 5 km dan 4 m sedangkan lebar dan jeluk saluran drainase sekitar 3,5 m dan 1,5 m dengan jeluk air saluran 1 m. Saat survey lokasi, Februari 2011, kondisi HP dalam keadaan alami dengan permukaan tanah gambut becek dan <i>water level</i> sekitar 1-2 cm. Vegetasi dominan pada lokasi yaitu Ubah (<i>Syzygium</i> spp.), Tanjan (<i>Dialium</i> spp.), Mahang (<i>Macaranga pruinosa</i>), Rengas (<i>Drmycarpus</i> spp.), Kayu malam (<i>Diospyros borneensis</i>), Kempas (<i>Koompasia mala</i>), Resak (<i>Cotylelobium</i> spp)
Hutan sekunder (HS)	Kecamatan Kubu-Kabupaten Kubu Raya (16.333 m ²) S = 00°21.697 E = 109°21.813	Pada HS terdapat saluran drainase (sebagai pembatas hutan lindung) dengan lebar dan jeluk sekitar 1,8 m dan 1 m dengan jeluk air saluran 0,7 m. Vegetasi dominan pada lokasi yaitu Tanjan (<i>Dialium</i> spp.), Rengas (<i>Drmycarpus</i> spp.), Resak (<i>Cotylelobium</i> spp.), Bintagor (<i>Calophyllum</i> spp.), Ilas (<i>Nepheium cuspidatum</i>), Tanang (<i>Calophyllum</i> spp.)
Semak belukar (SB)	Kecamatan Kubu-Kabupaten Kubu Raya (27.414 m ²) S = 00°21.418 E = 109°21.514	Pada SB kondisi lahan tidak seragam. Pada titik sampling 3 dan 4 terdapat hamparan batang-batang pohon bekas tebangan dan terbakar. Titik sampling lainnya berupa semak belukar. Pada lokasi terdapat vegetasi dominan tanaman pakis (<i>Diplazium esculentum</i>), pandan hutan (<i>Pandanus tectorius</i>) dan cengkokok (<i>Melastoma malabathricum</i>)
Kebun sawit (KS)	Kecamatan Kubu-Kabupaten Kubu Raya (26.299 m ²) S = 00°23.874 E = 109°22.648	Pada KS terdapat saluran drainase yang mengelilingi blok. Lebar dan jeluk saluran drainase utama sekitar 2,8 m dan 1,5 m dengan jeluk air saluran 1 m. Lebar dan jeluk saluran kanan blok sekitar 1,5 m dan 1 m dengan jeluk air saluran 0,3 m; saluran kiri blok sekitar 2,5 m dan 1,2 m dengan jeluk air saluran 0,4 m. Pada lokasi terdapat pakis-pakistan sebagai tanaman penutup (<i>cover crop</i>).
Kebun jagung (KJ)	Kecamatan Rasau Jaya-Kabupaten Kubu Raya (26.680 m ²) S = 00°12.759 E = 109°23.552	Pada KJ terdapat saluran drainase. Lebar dan jeluk saluran utama sekitar 3,8 m dan 2 m. Lebar dan jeluk saluran tersier sekitar 0,5 m dan 0,5 m dengan jeluk air saluran 0,4 m.

22 cm, ditancapkan ke dalam tanah sedalam 3 cm. Pada tipe lahan hutan (HP dan HS), *chamber* diletakkan antara vegetasi pohon dengan menyingkirkan *detritus* permukaan tanah agar *chamber* dapat tertancap ke dalam tanah. Pada tipe lahan SB, *chamber* diletakkan pada permukaan kosong disekitar semak dengan menyingkirkan *detritus* permukaan tanah agar *chamber* dapat tertancap ke dalam tanah. Pada tipe lahan KS dan KJ, *chamber* diletakkan antara baris tanaman. Penempatan *chamber* ini berhubungan dengan pembatasan penelitian yaitu emisi CO₂ dari hasil oksidasi bahan organik atau dekomposisi bahan organik tanah gambut.

Chamber tersebut dihubungkan dengan selang sebagai media keluar masuknya gas dari tabung ke alat *Kitagawa*. Saat pengukuran respirasi CO₂ tanah gambut dilakukan pengukuran suhu tanah dan jeluk muka air tanah. Pengukuran suhu tanah gambut dengan menggunakan termometer tancap digital yang diletakkan di samping tabung pada kedalaman 0 -10 cm. Pengukuran jeluk muka air tanah gambut diukur berdasarkan jarak muka air tanah terhadap permukaan tanah. Pengukuran sampel di lapangan dilaksanakan dua kali, awal musim kemarau (15-25 Juni 2012) dan akhir musim hujan (20-29 Desember 2012).

Perhitungan Emisi CO₂ Tanah Gambut

Rumus perhitungan respirasi tanah gambut pada lima tipe penggunaan lahan gambut sebagai berikut (USDA) :

$$\text{Respirasi tanah (lb CO}_2\text{-C/acre/hari)} = \text{PF} \times \text{TF} \times (\% \text{ CO}_2 - 0,035) \times 22,91 \times \text{H} \quad (1)$$

$$\text{Respirasi tanah (ton ha}^{-1}\text{ tahun}^{-1}) = \frac{((\text{Respirasi tanah} \times 0,454) \times 0,405)}{1000 \times 365} \quad (2)$$

PF = faktor tekanan

$$= 1$$

TF = faktor suhu

$$= (\text{suhu tanah dalam celsius} + 273) : 273$$

H = tinggi chamber

$$= 22 \text{ cm}$$

Untuk mengetahui hubungan dua faktor tersebut terhadap paramater penelitian dilakukan pengujian sidik ragam atau analisis varian (*Anova*). Jika

terdapat pengaruh yang nyata antara satu dengan lainnya dalam suatu parameter maka dilakukan uji jarak berganda Duncan (*Duncan's multiple range test-DMRT*). Uji ini dilakukan pada taraf $\alpha = 0,05$ dan $P = 0,05$. Pengolahan untuk *Anova* dan uji jarak berganda Duncan menggunakan program *CoStat* (*CoHort Software*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu dan Muka Air Tanah Gambut

Alih fungsi lahan gambut dari hutan rawa gambut primer (HP) menjadi lahan olahan seperti tipe lahan SB, KS dan KJ menyebabkan peningkatan suhu tanah gambut dan jeluk muka air tanah (semakin dalam) (Tabel 2). Suhu tanah gambut awal musim kemarau berkisar antara 22,78 -27,78 °C. Suhu tanah berturut-turut dari tinggi hingga rendah adalah SB, KJ, HS, KS dan HP, dengan perubahan antara HP dengan KJ sebesar 2,9%. Suhu tanah gambut akhir musim hujan berkisar antara 26,56-29,08 °C. Suhu tanah berturut-turut dari tinggi hingga rendah adalah KS, KJ, SB, HS dan HP, dengan perbedaan antara HP dengan KS sebesar 2,52%.

Jeluk muka air tanah gambut menunjukkan peningkatan setelah terjadi alih fungsi lahan dari hutan gambut alami menjadi lahan olahan berupa semak belukar dan lahan pertanian. Bertolak belakang pada HS memiliki jeluk muka air tanah lebih dangkal. Perbedaan tingkat emisi CO₂ dipengaruhi oleh jenis tanaman, selain itu durasi waktu pengelolaan lahan. Kondisi ini memperlihatkan perbedaan jeluk muka air tanah. Perubahan jeluk muka air tanah dari HP menjadi KJ sebesar 16,0% menyebabkan peningkatan emisi CO₂ tanah sebesar 44,3% sedangkan HP menjadi KS sebesar 7,10% menyebabkan peningkatan emisi CO₂ tanah sebesar 49,6% (Tabel 2).

Emisi CO₂ Tanah Gambut

Alih fungsi lahan menyebabkan perubahan emisi CO₂ tanah gambut (Gambar 2). Peningkatan emisi CO₂ tanah terjadi karena alih fungsi lahan HP menjadi KJ, KS dan HS, sebaliknya penurunan dari HP menjadi SB.

Tabel 2. Suhu dan muka air tanah gambut.

Tipe lahan	Suhu tanah (°C)		Muka air tanah (cm)
	I	II	
Hutan primer (HP)	22,78	26,56	47,2
Hutan sekunder (HS)	26,56	26,64	32,1
Semak belukar (SB)	27,78	27,96	57,6
Kebun sawit (KS)	26,44	29,08	50,8
Kebun jagung (KJ)	27,22	28,06	56,2

I = awal musim kemarau (15-25 Juni 2012).

II = akhir musim hujan (20-29 Desember 2012).

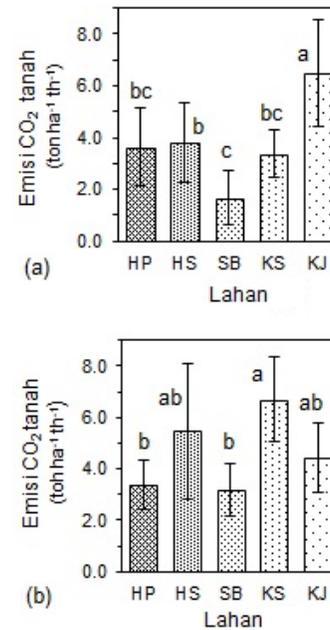
Emisi CO₂ tanah gambut awal musim kemarau pada lokasi kajian berkisar antara 1,70 - 6,51 ton ha⁻¹ th⁻¹. Data tersebut menunjukkan kecenderungan emisi CO₂ pada tipe KJ lebih tinggi dibanding HS, HP, KS dan terendah pada tipe SB, dengan perubahan antara HP dengan KJ sebesar 44,3%. Sebaliknya penurunan antara HP dengan SB sebesar 53,7%. Uji jarak berganda Duncan menunjukkan bahwa emisi CO₂ tanah musim kemarau pada KJ berbeda nyata dengan tipe lahan kemarau pada KJ berbeda nyata dengan tipe lahan lainnya. Tipe HS tidak berbeda nyata dengan HP dan KS namun berbeda dengan SB, sedangkan antara HP, KS dan SB tidak berbeda nyata.

Emisi CO₂ tanah gambut musim hujan pada lokasi kajian berkisar antara 3,17- 6,70 ton ha⁻¹ th⁻¹ (Gambar 2). Data tersebut menunjukkan kecenderungan emisi CO₂ pada KS paling tinggi dibanding tipe HS, KJ, HP, SB, dengan perubahan antara HP dengan KS sebesar 49,6%. Sebaliknya penurunan antara HP dengan SB sebesar 6,2%. Uji jarak berganda Duncan menunjukkan bahwa emisi CO₂ tanah musim hujan pada KS, HS, KJ tidak berbeda nyata namun berbeda dengan HP dan SB, sedangkan HS, KJ, HP dan SB tidak berbeda nyata.

Hasil pengukuran emisi CO₂ tanah dalam penelitian ini hampir sama dengan penelitian Rumbang dkk. (2009), antara 3,1-12,0 ton CO₂ ha⁻¹ th⁻¹, yang dilakukan di lahan gambut Kalbar pada tahun 2006 namun lebih rendah dari penelitian Hooijer dkk. (2006) sekitar 54 ton CO₂ ha⁻¹ th⁻¹ yang merupakan emisi CO₂ tanah gambut secara keseluruhan. Moyano dkk. (2010) menyatakan bahwa kontribusi dari respirasi akar mencapai 52% dari total respirasi, sedangkan menurut Crow dan Wieder (2005) bahwa akar tanaman menyumbang emisi CO₂ sebesar 35-57%. Secara rata-rata respirasi akar mencapai 50% dari respirasi tanah (Luo dan Zhou, 2006).

Pengaruh Suhu dan Muka Air Tanah terhadap Emisi CO₂ Tanah

Alih fungsi lahan HP menjadi lahan olahan (KJ dan KS) menyebabkan peningkatan suhu tanah dan berdampak pada peningkatan emisi CO₂ tanah gambut. Terdapat hubungan positif antara suhu tanah gambut dan pelepasan CO₂ tanah. Sejalan dengan penelitian Hirano dkk. (2012) bahwa aliran CO₂ tanah meningkat secara eksponensial dengan suhu pada 4-5 °C dan dengan Hergoualc'h dan Verchot (2011) bahwa terdapat hubungan positif antara suhu tanah dan emisi CO₂ tanah ($r = 0,16$; $P = 0,84$). Hasil yang sama dilaporkan oleh Antony dan Nurdiansyah (2012) bahwa terdapat perbedaan suhu tanah pada tipe lahan hutan sekunder, bukaan baru untuk pertanian dan transmigrasi di Jambi, berturut-turut 25,9, 28,7, 28,4 °C maka emisi CO₂



Gambar 2. Emisi CO₂ tanah pada hutan primer (HP), hutan sekunder (HS), semak belukar (SB), kebun sawit (KS) dan kebun jagung (KJ) pada musim kemarau (a) dan musim hujan (b). Huruf sama tidak berbeda nyata.

menunjukkan peningkatan berturut-turut 0,53, 0,93 dan 0,97 g.m⁻².hari⁻¹.

Bila dibandingkan dengan ekosistem alami, lahan pertanian melepaskan CO₂ relatif lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena pengolahan intensif yang menyebabkan agregat tanah menjadi rusak dan bahan organik yang terlindung agregat menjadi terbuka, aerasi dan kelembaban tanah yang tinggi karena suhu meningkat. Kondisi tersebut menyebabkan dekomposisi bahan organik tanah oleh mikrobia meningkat dan akan memacu kenaikan respirasi tanah. Sesuai dengan penelitian Jensen dkk. (2003); Emmett dkk. (2004) bahwa pada lahan pertanian aliran gas CO₂ sekitar 1,8-25,9 gC.m⁻².d⁻¹ sedangkan pada lahan semak sekitar 1,2-7,8 gC.m⁻².d⁻¹. Selain itu, ketika hutan alami dibuka untuk penggunaan lahan tertentu maka akan terjadi perubahan yang drastis pada ekosistem. Selain hilangnya biomasa tanaman juga sinar matahari yang secara langsung mengenai tanah dapat mempengaruhi suhu dan langsung sehingga respirasi heterotrof tanah semakin tinggi (Hergoualc'h dan Verchot, 2011; Hooijer dkk., 2010). Penggundulan lahan gambut tropis dan perubahan penggunaan lahan dapat meningkatkan suhu tanah bersama dengan perubahan kondisi hidrologi dan vegetasi penutup. Kondisi tersebut sebagai faktor penentu siklus C dalam tanah gambut (Hergoualc'h dan Verchot, 2011; Nieveen dkk., 2005). Emisi CO₂ utamanya disebabkan oleh kehilangan cadangan

atas permukaan karena penebangan vegetasi dan mineralisasi bahan organik tanah.

Selain suhu tanah, kehilangan CO₂ dari lahan gambut juga dipengaruhi oleh kedalaman drainase yang mempengaruhi muka air tanah. Peningkatan emisi CO₂ tanah dari tipe lahan HP menjadi lahan pertanian bersamaan pula dengan kondisi muka air tanah lebih dalam. Emisi CO₂ dari lahan gambut yang didrainase secara umum meningkat dengan meningkatnya kedalaman drainase yang menyebabkan muka air tanah gambut dalam. Terjadi korelasi nyata antara emisi CO₂ dengan suhu tanah, tentu disebabkan adanya hubungan dengan jeluk muka air tanah dan aktivitas mikroorganisme tanah dalam proses dekomposisi gambut.

Hasil yang sama ditunjukkan oleh Rumbang dkk. (2009) bahwa peningkatan emisi CO₂ sebesar 74,2% dengan perubahan jeluk muka air sebesar 72,4% di Kalbar tahun 2006. Sejalan pula dengan temuan Hirano dkk. (2012) bahwa terdapat hubungan linier antara muka air tanah dan aliran CO₂ tanah. Peningkatan emisi CO₂ sebesar 79-238 gC.m⁻² setiap 0,1 m jeluk muka air tanah pada lahan gambut tropika di Palangkaraya-Kalimantan Tengah. Perbedaan jeluk muka air tanah pada tipe lahan hutan sekunder, bukaan baru untuk pertanian dan transmigrasi di Jambi, berturut-turut 12,7, 33,4, 69,4 cm maka emisi CO₂ menunjukkan peningkatan berturut-turut 0,53, 0,93 dan 0,97 g.m⁻².hari⁻¹ (Antony dan Nurdiansyah, 2012). Nilai emisi CO₂ tanah gambut tinggi sebesar 54 ton CO₂ ha⁻¹ th⁻¹ pada kedalaman drainase 60 cm pada kebun sawit (Hooijer dkk., 2006).

Drainase pada lahan gambut olahan menyebabkan perubahan kondisi anaerob menjadi aerob. Lapisan gambut teraerasi baik akan meningkatkan oksidasi bahan gambut sehingga terjadi peningkatan dekomposisi gambut oksidatif dan aktivitas mikrobia tanah. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan emisi CO₂ tanah gambut. Uraian tersebut sesuai dengan kondisi lokasi kajian pada tipe lahan KJ dan KS yang mempunyai nilai emisi CO₂ tertinggi dibandingkan tipe lahan lain.

Bertolak belakang pada tipe SB, dimana terjadi emisi CO₂ tanah lebih rendah pada kedua pengukuran dengan jeluk muka air tanah dalam dan suhu tanah cenderung tinggi (Tabel 2). Sesuai dengan pendapat Danevčič dkk. (2010) bahwa respirasi total tanah dari gambut *fen* dan *bog* di Ljubljana Marsh, Slovenia, berkorelasi negatif dengan jeluk muka air tanah ($r^2 = 0,4-0,65$). Pendapat yang sama oleh Mäkiranta dkk. (2010) menyatakan bahwa respirasi tanah gambut heterotrop (Rpeat) lebih rendah dengan jeluk muka air tanah dalam pada hutan ditebang sedangkan

pada kontrol dengan jeluk muka air tanah dangkal mempunyai respirasi lebih tinggi. Peningkatan jeluk muka air tanah menurunkan kecepatan dekomposisi bahan organik dan emisi CO₂ tanah lebih rendah. Hasil penelitian Nuryani dkk. (2009) menunjukkan bahwa sebagian besar gambut yang terbuka di Bereng Bengkel telah mengalami perubahan sifat dari hidrofilik menjadi hidrofobik. Hal ini ditandai dengan perubahan beberapa sifat seperti pH gambut lebih rendah, jumlah karboksil dan fenolik-OH lebih tinggi dibandingkan gambut hidrofilik. Gambut hidrofobik melepas emisi CO₂ lebih rendah dibandingkan dengan gambut hidrofilik.

Kegiatan pengolahan lahan berupa pembuatan drainase, persiapan tanam, pemupukan, pemberian amelioran dan pemanenan dapat menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia tanah gambut dan mendorong peningkatan emisi CO₂ tanah. Sifat-sifat tersebut adalah ketersediaan C-organik (jumlah dan kualitas bahan organik) (Danevčič dkk. 2010), pH tanah gambut (Luo dan Zhou, 2006) dan kematangan gambut.

Total kadar C-organik dan berat isi (*bulk density*-BD) tanah gambut mempengaruhi *soil water holding* dan kelembaban tanah pada fluktuasi air tanah (Danevčič dkk. 2010) dimana keduanya sebagai faktor pembatas aktivitas mikrobia. Hasil penelitian pada lokasi kajian menunjukkan bahwa kadar C-organik dan BD tanah gambut pada KS dan KJ memiliki nilai lebih rendah dibandingkan kawasan hutan (Nusantara, 2014). Hal ini berarti bahwa *soil water holding* dan kelembaban tanah lebih rendah pada KS dan KJ sebagai faktor utama dalam proses penguraian bahan organik dan emisi CO₂ tanah gambut. Terdapat korelasi antara emisi CO₂ dengan kandungan C-organik tanah gambut di Kalbar (Rumbang dkk., 2009). Kandungan C-organik yang tinggi mengindikasikan laju dekomposisi lambat berarti emisi CO₂ tanah gambut rendah. Sebaliknya C-organik rendah dengan laju dekomposisi gambut semakin lanjut maka emisi CO₂ tanah gambut meningkat.

Terdapat hubungan linier antara pH dengan emisi CO₂ tanah gambut. Hasil penelitian menunjukkan hubungan tersebut bahwa peningkatan pH gambut diikuti dengan peningkatan emisi CO₂ tanah gambut pada tipe lahan KJ. Sesuai dengan penelitian Rumbang dkk. (2009) di lahan gambut Kalbar tahun 2006 bahwa terjadi peningkatan emisi CO₂ dengan peningkatan pH pada 4 tipe lahan gambut. Kenaikan pH secara nyata meningkatkan emisi CO₂ karena pH tanah akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah. Menurut Luo dan Zhou (2006), pH tanah mengatur reaksi kimia dan enzim pada mikroorganisme. Di dalam matrik tanah, absorpsi

enzim ke dalam humus terjadi secara optimal pada pH yang tinggi.

Umumnya permukaan tanah gambut memiliki tingkat kematangan saprik. Data hasil penelitian mengenai tingkat kematangan gambut pada tipe KS dan KJ menunjukkan bahwa permukaan tanah memiliki tingkat kematangan saprik. Pada lahan tersebut ditandai pula emisi CO₂ yang lebih tinggi dibanding tipe lainnya. Berglund dan Berglund (2011) menyatakan bahwa tingkat dekomposisi lanjut pada permukaan tanah mengindikasikan lebih banyak bahan organik hancur yang mungkin terdekomposisi lebih mudah. Uraian-uraian tersebut dapat menerangkan bahwa perubahan ekosistem alami hutan rawa gambut menjadi lahan pertanian selain menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia tanah bahkan dapat mendorong peningkatan emisi CO₂ tanah gambut.

KESIMPULAN

Peningkatan emisi CO₂ tanah gambut terjadi karena perubahan penggunaan lahan dari HP menjadi KJ dan KS yang merupakan lahan olah intensif. Pengolahan intensif menyebabkan agregat tanah menjadi rusak dan bahan organik yang terlindung agregat menjadi terbuka, aerasi dan kelembaban tanah yang tinggi karena suhu meningkat. Kondisi tersebut menyebabkan dekomposisi bahan organik tanah oleh mikrobia meningkat pula dan ini akan memacu kenaikan respirasi tanah. Terdapat hubungan positif antara suhu tanah gambut dan pelepasan CO₂ tanah. Selain suhu tanah, kedalaman drainase dapat mempengaruhi jeluk muka air tanah yang mendorong kehilangan CO₂ dari lahan gambut. Drainase pada lahan gambut olah menyebabkan perubahan anaerob menjadi aerob. Lapisan gambut teraerasi baik dan meningkatkan oksidasi bahan gambut sehingga terjadi peningkatan dekomposisi gambut oksidatif dan kondisi yang baik untuk aktivitas mikrobia. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan emisi CO₂ tanah gambut. Perubahan ekosistem alami hutan rawa gambut menjadi lahan pertanian selain menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia tanah, berupa ketersediaan C-organik (jumlah dan kualitas bahan organik), pH tanah gambut, kematangan gambut bahkan dapat mendorong peningkatan emisi CO₂ tanah gambut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Disertasi Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Prof. Dr. Gusti Z. Anshari selaku Kepala Laboratorium Analisis Lingkungan Univeristas Tanjungpura Pontianak. Sudarso,

Kepala Desa Pinang Luar-Kubu Raya. Agus Ruliansyah, SP., M.Si., Tya, Rezza, Yasir, Andi, Irfan yang membantu selama kegiatan penelitian di lapangan dan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. *Climate change 2007: Impacts, Adaptions and Vulnerability*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Antony D., dan Nurdiansyah, F., 2012. Emisi CO₂ Tanah Gambut pada Penggunaan Lahan yang Berbeda di Kecamatan Mendahara, Kabupaten Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Agronomi*, 9(2):111-115.
- Berglund, O., dan Berglund, K., 2011. Influence of Water Table Level and Soil Properties on Emissions of Greenhouse Gases from Cultivated Peat Soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 43:923-931.
- Crow, S.E., dan Wieder, R.K., 2005. Sources of CO₂ Emissions from a Northern Peatland: Root Respiration, Exudation and Decomposition. *Ecology*, 86(7):1825-1834.
- Danevčič, T., Mandić-Mulec, I., Stres, B., Stopar, D., dan Hacin, J., 2010. Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from Southern European Peatlands. *Soil Biology & Biochemistry*, 41:1437-1446.
- Donnaura, M., dan Jomura, M., 2005. Measurement of Root Respiration Before and After Forest Fire-Evaluation of The Role of Root in Soil Respiration. <http://www.ars.usda.gov/research/publication.htm>. (diakses 23 Januari 2008).
- Emmett, B.A., Beier, C., Estiarte, M., Tietema, A., Kristensen, H.L., dan Williams, D., 2004. The Response of Soil Processes to Climate Change: Results from Manipulation Studies Across an Environmental Gradient. *Ecosystems*, 7(6):625-637.
- Farmer, J., Matthews, R., Smith, J.U., Smith, P., dan Singh, B.K., 2011. Assessing Existing Peatland Models for Applicability for Modelling Greenhouse Gas Emissions from Tropical Peat Soils. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3:339-349.
- Haney, R.L., Brinton, W.H., dan Evans, E., 2008. Estimating Soil Carbon, Nitrogen dan Phosphorus Mineralization from Short-term Carbon dioxide Respiration. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39:2706-2720.
- Hergoualc'h, K., dan Verchot, L.V., 2011. Stocks and Fluxes of Carbon Associated with Land Use Change in Southeast Asia Tropical Peatlands: A review. *Global Biogeochemical Cycles*, 25:1-13.

- Hirano, T., Segah, H., Kusin, K., Limin, S., Takahashi, H., dan Osaki, M., 2012. Effects on Disturbances on Carbon Balance of Tropical Peat Swamp Forest. *Global Change Biology*, 18:3410-3422.
- Hooijer A., Silvius, M., Wösten, H. dan Page, S.E., 2006. PEAT-CO₂, *Assessment of CO₂ Emissions from Drained Peatlands in SE Asia*. Delft Hydraulics Report Q3943, Delft the Netherlands.
- Hooijer, A., Page, S., Canadell, J.G., Silvius, M., Kwadijk, J., Woosten, H., dan Jauhianen, J., 2010. Current and Future CO₂ Emissions from Drained Peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*, 7:1505-1514.
- Jauhianen, J., dan Hooijer, A., 2012. *Greenhouse Gas Emissions from Plantation on Thick Tropical Peat, dalam Peatlands in Balance*. Proceeding of the 14th International Peat Congress, Stockholm, Sweden.
- Jensen, K.D., Beier, C., Michelsen, A., dan Emmett, B.A., 2003. Effects of Experimental Drought on Microbial Processes in Two Temperate Heathlands at Contrasting Water Conditions. *Appl. Soil Ecol.*, 24:165-176.
- Komulainen, V., Tuittila, E., Vasander, H., dan Laine, J., 1999. Restoration of Drained Peatland in Southern Finland: Initial Effects on Vegetation Change and CO₂ Balanced. *Journal of Applied Ecology*, 36:634-648.
- Limpens, J., Berendse, F., Blaodau, C., Canadell, J.G., Freeman, C., Holden, J., Roulet, N., Rydin, H., dan Schaepman-Strub, G., 2008. Peatlands and the Carbon Cycle: From Local Processes to Global Implications a Synthesis. *Biogeosciences*, 5:1475-1491.
- Luo, Y. dan Zhuo, X., 2006. *Soil Respiration and The Environment*. Academic Press, Amsterdam.
- Mäkiranta, P., Riutta, T., Penttilä, T., dan Minkkinen, K., 2010. Dynamics of Net Ecosystem CO₂ Exchange and Heterotrophic Soil Respiration Following Clearfelling in a Drained Peatland Forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150:1585-1596.
- Moyano, F.E., Atkin, O.K., Bahn, M., Bruhn, D., Burton, A.J., Heinemeyer, A., Kutsch, W.I. dan Weiser, G., 2010. Respiration from Roots and the Mycorrhizosphere, *dalam* Kutsch, W.I., Bahn, M., dan Heinemeyer, H. (eds). University Press, 127-156.
- Nieveen, J.P., Campbell, D.I., Schipper, L.A., dan Blair, I.J., 2005. Carbon Exchange of Grazed Pasture on a Drained Peat Soil. *Global Change Biology*, 11:607-618.
- Nuryani, S.U.H., Mass, A., Purwanto, B.H. dan Radjaguguk, B., 2009. Effects of Surfactant and Ameliorant on Effectiveness of P Fertilizer on Hidrofobik Peat from Central Kalimantan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 9(2):103-113.
- Nusantara, R.W., 2014. Defferensiasi Karbon Organik Tanah dan Seresah, Nutrien dan Emisi CO₂ Tanah Akibat Alih Fungsi Hutan Rawa Gambut Kalimantan Barat. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., Lohila, A., Badorek, T. dan Penttila, T., 2012. Chamber Measured Soil Respiration: A Useful Tool for Estimating the Carbon Balance of Peatland Forest Soil? *Forest Ecology and Management*, 277:132-140.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., dan Penttila, T., 2013. The Current Greenhouse Gas Impact of Forestry-drained Boreal Peatland. *Forest Ecology and Management*, 289:201-208.
- Page, S.E., Rieley, J.O., Shotyk, Ø.W., dan Weiss, D., 1999. Interdependence of Peat and Vegetation in a Tropical Peat Swamps Forest. *Phil. Trans. R. Soc. Land. B* 354:1885-1897.
- Page, S. E., Slegert, F., Rieley, J.O., Boehm, H.V. Jaya, A., dan Limin, S., 2002. The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fires in Indonesia during 1997. *Nature*, 420:61-65.
- Page, S.E., Hoscilo, A., Wösten, H., Jauhianen, J. Silvius, M., Rieley, J., Ritzema, H., Tansey, K., Graham, L., Vasander, H., dan Limin, S., 2009. Restoration Ecology of Lowland Tropical Peatlands in Southeast Asia: Current Knowledge and Future Research Directions. *Ecosystems*, 12:888-905.
- Radjaguguk, B., 2000. Perubahan Sifat-sifat Fisik dan Kimia Tanah Gambut Akibat Reklamasi Lahan Gambut untuk Pertanian, *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 2(1):1-15.
- Rieley, J.O., dan Page, S.E., 2008. Carbon Budget Under Different Land Uses on Tropical Peatland, *dalam* Future of Tropical Peatlands in Southeast Asia as Carbon Pools and Sinks. Rieley, J.O., Banks, C.J., dan Page, S.E. (eds.)
- Rumbang, N., Radjaguguk, B., dan Parjitno, D., 2009. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Beberapa Tipe Penggunaan Lahan Gambut di Kalimantan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 9(2):95-102.
- Ueda. S., Go, C.U., Ishizuka, S., Tsuruta, H., Iswandi, A., dan Murdiyarsa, D., 2005. Isotopic Assessment of CO₂ Production through Soil Organic Matter Decomposition in the Tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71:109-116.
- Vasander, H., dan Jauhianen, J., 2008. Uncertainties, Deficiencies and Unknowns in Greenhouse Gas Emissions from Tropical Peatlands, *dalam* Future of Tropical Peatlands

in Southeast Asia as Carbon Pools and Sinks.
Rieley, J.O., Banks, C.J., dan Page, S.E.
(Eds).

Wösten, J.H.M., Clyman, S.E., Page, S.E., Rieley,
J.O. dan Limin S.H., 2008. Peat-Water
Interrelation in Tropical Peatland Ecosystem in
Southeast Asia. *Catena*, 73:201-217.